

УДК: 911.52

А.В. Мартыненко

Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург
Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург

ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ БОЛЬШОГО УРАЛА



Ключевые слова: *гравиметрическая аномалия; гравигеография; размещение населения; аномалия Буге; изостатическая аномалия; аномалия в свободном воздухе; геоинформационные технологии; статистический анализ.*

Работа посвящена изучению влияния гравитополей на размещение населения. Исследуется вопрос о наличии статистически значимых особенностей гравиметрических аномалий на заселенных территориях. Показано, что значения гравиметрических аномалий в свободном воздухе, Буге и изостатической обладают статистически значимыми отличиями для заселенных и незаселенных территорий. В частности, установлено, что коэффициенты корреляции между различными аномалиями и высотами над уровнем моря существенно отличаются для заселенной и незаселенной территории.

A.V. Martynenko

GRAVIMETRIC FEATURES OF PEOPLE DISTRIBUTION ON THE GREAT URALS

Keywords: *gravity anomaly; gravity geography; population distribution; Bouguer anomaly; isostatic anomaly; the anomaly in free air; geographic information technology; statistical analysis.*

The work is devoted to the study of the influence of gravitational fields on the population distribution. The question about statistically significant features of gravimetric anomalies in populated areas is investigated. It is shown that the values of gravimetric anomalies in free air, Bouguer and isostatic have statistically significant differences for populated and un populated areas. In particular, it was found that the correlation coefficients between different anomalies and altitudes above sea level differ significantly for populated and uninhabited areas.

Мартыненко Александр Валерьевич - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Естественнонаучные дисциплины» Уральского государственного университета путей сообщения, старший научный сотрудник Центра развития и размещения производительных сил Института экономики УрО РАН (Екатеринбург). Тел.: (343) 371-02-86; e-mail: amartynenko@rambler.ru.

Alexander Valerievich Martynenko - PhD in physics and mathematics, associate professor, Department of natural sciences, Ural State University of Railway Transport, Russia, senior researcher of Center of production forces development and placement, Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Science (Yekaterinburg). Phone: (343) 371-02-86; e-mail: amartynenko@rambler.ru.

Существует достаточно широкий класс природных явлений и процессов, испытывающих существенное влияние гравитационного поля Земли. В первую очередь речь идет о различных геологических процессах, протекающих в недрах Земли и процессах ландшафтообразования (например, формирования рельефа местности). Однако гравитационное поле играет определенную роль и для менее глобальных процессов. В частности, они оказывают значимое влияние на формирование и развитие как биологических, так и социально-экономических систем.

Исследованию связи гравигеографии и размещения городов, сырьевой, производственной и транспортной инфраструктуры, а также естественных производительных сил посвящены пионерские работы д.г.н. В.В. Литовского (Литовский, 2011; Литовский, 2016; Литовский, Левковский, 2016, 2018; Литовский, 2017; Литовский, 2018), что предопределило к ним повышенный интерес. В некоторых из них (Литовский, 2017, 2018) особое внимание было уделено гравигеографии рек, озер и водохранилищ, поскольку она влияет, а иногда и предопределяет хозяйствование и локализацию населения. Так, исследование рек восточного и западного склона Урала позволило в работе выдвинуть гипотезу о реках как «гравитационных насосах» и пространственных перераспределителях вещества и минеральных ресурсов, действие которых сопряжено фундаментальным явлением изостатического выравнивания дневных поверхностей земной коры и стадиями эволюционирования водотока. Установлено также, что реки являются пространственно-динамическими каналами сброса и депонирования гравитационного сноса, а устья большей части рек являются маркерами развития геохимических полей с повышенной хозяйственной ценностью и в зависимости от возраста и характера эволюционирования рек, например, на восточном склоне тяготеют к зонам отрицательных гравеоаномалий (Литовский, 2017, 2018).

В других работах (Литовский, 2016; Литовский, Левковский, 2016) исследовалось влияние гравиметрии на географию размещения городов и особенности их хозяйственной специализации. Это позволило выдвинуть и обосновать на избранном конкретном материале гипотезу о том, что «поселения тяготеют к территориям, которые четко выделяются в гравитационных полях». В рамках обобщенного статистического подхода эта гипотеза была подтверждена в нашей работе (Martynenko, 2016). Было установлено, что «города располагаются на территориях, которые имеют, в среднем, более высокие значения гравиметрических аномалий, т.е. обладают избыточным (по сравнению с незаселенной территорией) веществом».

Постановка проблемы

Гравиметрическая аномалия в точке земной поверхности с географическими координатами (x, y) – это величина

$$\Delta g(x, y) = g_{obs}(x, y) - g_{teor}(x, y), \quad (1)$$

где $g_{obs}(x, y)$ – наблюдаемое значение силы тяжести в точке (x, y) , $g_{teor}(x, y)$ – теоретическое значение силы тяжести в точке (x, y) . Наблюдаемое значение $g_{obs}(x, y)$ доступно для непосредственного измерения, теоретическое значение $g_{teor}(x, y)$ рассчитывается на основе некоторых допущений и упрощений относительно формы и плотности Земли. В частности, для расчета теоретического значения предполагают, что Земля представляет собой эллипсоид вращения. Тогда $g_{teor}(x, y)$ – сила тяжести в точке поверхности эллипсоида (x, y) . При этом $g_{obs}(x, y)$ определяется для точки с координатами (x, y) , которая лежит на реальной поверхности Земли и, соответственно, не совпадает с точкой поверхности эллипсоида.

Поэтому для расчета $g_{teor}(x, y)$ следует принимать во внимание отклонение по высоте реальной точки земной поверхности от поверхности эллипсоида. Если дополни-

тельно предполагать, что эллипс имеет однородную плотность, то определяемую формулой (1) гравиметрическую аномалию можно назвать аномалией в свободном воздухе. Очевидно, что значение гравиметрической аномалии существенно зависит от массы вещества, содержащегося в слое между поверхностями эллипсоида и Земли. Гравитационная аномалия, вычисляемая по формуле (1) с учетом этой массы, называется аномалией Буге. Предположение о том, что эллипсоид является однородным, можно заменить на более реалистичное допущение, называемое законом изостатического равновесия. Этот закон утверждает, что менее плотная земная кора плавает в более плотном слое мантии согласно закону Архимеда. Для $g_{теор}(x,y)$, вычисленного на основе закона изостатического равновесия, гравиметрическая аномалия (1) называется изостатической аномалией. Более детальную информацию о гравиметрических аномалиях и их приложениях в геофизике можно найти в опубликованной ранее работе (Орлёнок, 2000).

Очевидно, что если гравиполя оказывают влияние на процессы, связанные с размещением и деятельностью человека, то это должно приводить, в частности, к различиям в значениях гравиметрических аномалий для заселенных и незаселенных территорий. При этом также очевидно, что эти различия не могут быть очень большими, поскольку кроме гравиполей на размещение населения оказывает влияние большое количество других факторов. Поэтому, одним из наиболее подходящих методов для отыскания таких различий является статистический метод, который уже был успешно использован нами ранее (Martynenko, 2016).

Основная цель настоящей работы - развивая и модифицируя предшествующий подход (Martynenko, 2016), выявить более глубокие статистически значимые гравиметрические особенности размещения населения городов Большого Урала.

Исходные данные и методы исследования

Подробное описание исходных данных и геоинформационных технологий, которые будут использованы в данной статье, содержится в предыдущих работах автора (Мартыненко, 2016; Martynenko, 2016). Поэтому здесь ограничимся лишь краткими сведениями, необходимыми для понимания дальнейшего текста статьи.

В качестве источника значений гравиметрических аномалий будем использовать данные Международного Гравиметрического Бюро (International Gravimetric Bureau) (Официальный сайт Международного Гравиметрического Бюро, 2018). На сайте этой организации в свободном доступе представлены значения гравиметрических аномалий в свободном воздухе, Буге и изостатических, а также топографические данные (высоты над уровнем моря) для всей поверхности земного шара. Все эти значения содержатся в текстовом файле для сетки с шагом 2'. В данной статье будут использоваться значения для участка земной поверхности от 50° с.ш. до 67° с.ш. и от 53° в.д. до 77° в.д. (рис. 1). Эта территория охватывает наиболее заселенную часть Большого Урала, Западную Сибирь и частично Северный Казахстан. Далее будем обозначать указанную территорию через D . Остальные геоданные для этой территории взяты из имеющихся материалов (Основные геоданные GIS-Lab, 2018).

Поскольку, значения аномалий и высот над уровнем моря в базе даны для сетки с шагом 2', то территории D соответствует более 500 тыс. значений каждой из аномалий. Для точки $(x,y) \in D$ обозначим через $f=f(x,y)$, $b=b(x,y)$, $i=i(x,y)$, $t=t(x,y)$ значения аномалий в свободном воздухе, Буге, изостатической и высот над уровнем моря, соответственно. На **рис. 1** в качестве примера изображены изолинии аномалии в свободном воздухе, которые можно рассматривать как линии уровня функции $f(x,y)$.

Будем рассматривать только те населенные пункты, численность жителей которых превышает 1000 чел. Территория D содержит 463 таких населенных пункта. Часть

из них является поселками и селами, однако для краткости изложения будем все рассматриваемые населенные пункты называть городами. В качестве значений гравиметрических аномалий территорий городов возьмем значения функций f , b , i и t в точках, которые являются географическими центрами городов. При этом отметим, что гравиметрическую аномалию для города можно было бы вычислить как среднее значение по всем точкам территории города. Однако, значения, получающиеся в этом случае, практически не отличаются от точечных значений в центрах городов. Это связано с тем, что исходные данные сами по себе являются усреднениями по квадратам со стороной $2'$. Множества значений функций f , b , i и t по всем городам территории D обозначим через $F_{\text{гор}}$, $B_{\text{гор}}$, $I_{\text{гор}}$ и $T_{\text{гор}}$, соответственно.

Далее будем сравнивать статистические характеристики, рассчитанные по значениям гравиметрических аномалий и высотами над уровнем моря для городов и для незаселенных территорий. При проведении такого сравнения для выделения незаселенных территорий необходимо исключить из D все заселенные участки. Это означает, что нужно исключить из D всю территорию города и, возможно, некоторую его окрестность. Однако, результаты, которые будут получены в этом случае, не будут отличаться от ситуации, когда в качестве незаселенной территории будет рассматриваться вся область D . Это обусловлено тем, что исключаемых значений даже при учете окрестности города будет не более нескольких тысяч, что очень мало по сравнению с более чем 500 тыс. значений всей области D . Поэтому в качестве незаселенной территории будем рассматривать всю область D , и множество значений функций f , b , i и t для всех точек из области D будем обозначать через F , B , I и T , соответственно.

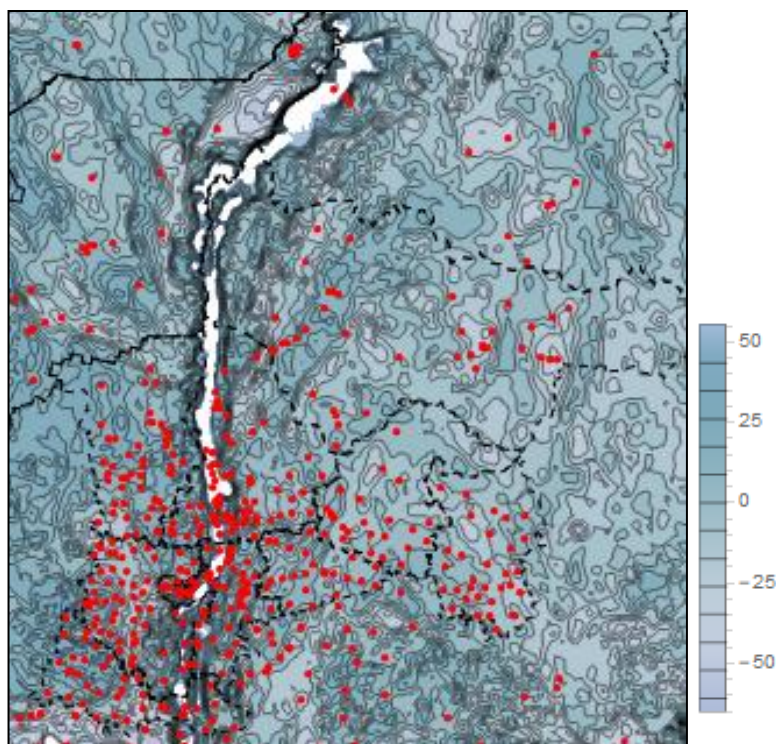


Рис. 1. Изотопическая карта гравиметрических аномалий в свободном воздухе. Точками показаны населенные пункты с населением более 1 тыс. чел.

Для геоинформационной и статистической обработки данных использована программа Wolfram Mathematica, применение которой базируется на методах обработки географических данных, предложенных ранее (Мартыненко, 2016).

Результаты и их обсуждение

Используя описанные выше инструменты и методы, сравним значения коэффициентов корреляции (Кобзарь, 2006) между различными гравиметрическими аномалиями и значениями высот над уровнем моря для заселенных и незаселенных территорий. На рис. 2 представлены корреляционные поля и коэффициенты корреляции для пар F , B и $F_{\text{гор}}$, $B_{\text{гор}}$.

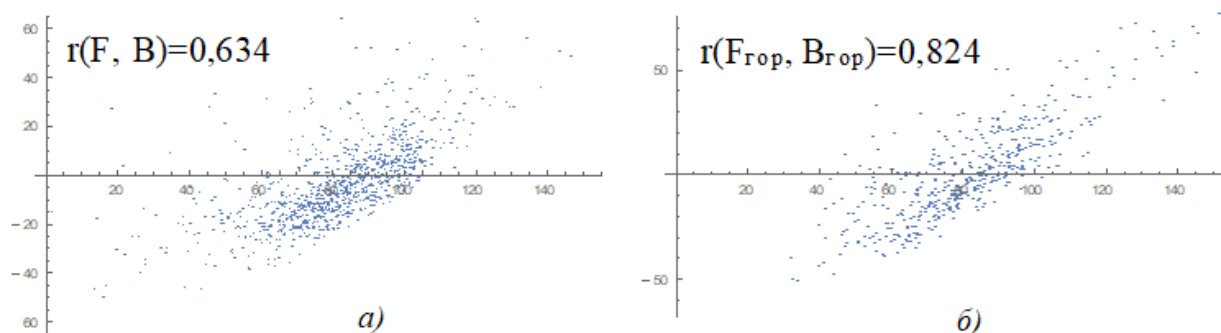


Рис. 2. Корреляционные поля и коэффициенты корреляции между гравиметрическими аномалиями Буге и в свободном воздухе для а) незаселенных и б) заселенных территорий.

Визуальный анализ корреляционных полей и сравнение коэффициентов корреляции однозначно показывают наличие отличий между значениями гравиметрических аномалий для незаселенных и заселенных территорий: корреляция между аномалиями Буге и в свободном воздухе значительно выше для заселенных территорий. Аналогичная картина имеет место при сравнении корреляций между изостатической аномалией и аномалией Буге (рис. 3). Эти аномалии также более сильно коррелируют на заселенных территориях.

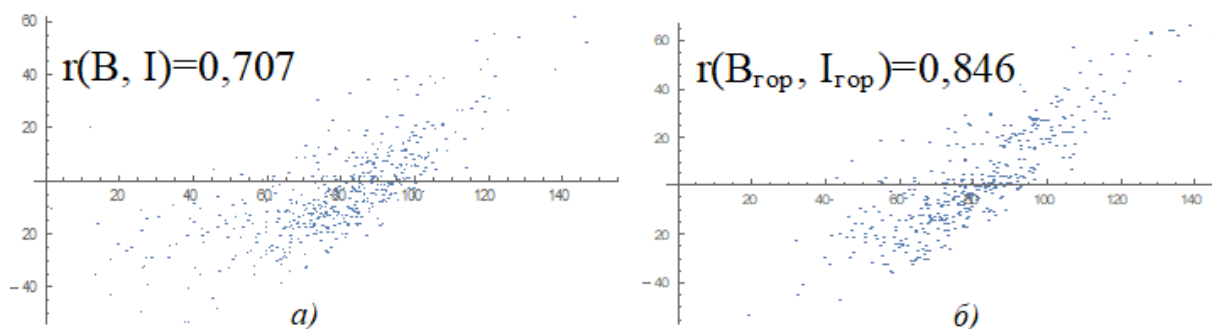


Рис. 3. Корреляционные поля и коэффициенты корреляции между гравиметрическими аномалиями Буге и изостатической для а) незаселенных и б) заселенных территорий.

Принципиально иная ситуация наблюдается при сравнении корреляций между аномалией Буге и высотой над уровнем моря (рис. 4). В отличие от двух предыдущих случаев, здесь при наличии умеренной обратной линейной связи для незаселенных территорий коэффициент корреляции для заселенных территорий оказывается не значимым, т.е. в местах расположения городов отсутствует какая-либо связь между аномалией Буге и высотой над уровнем моря.

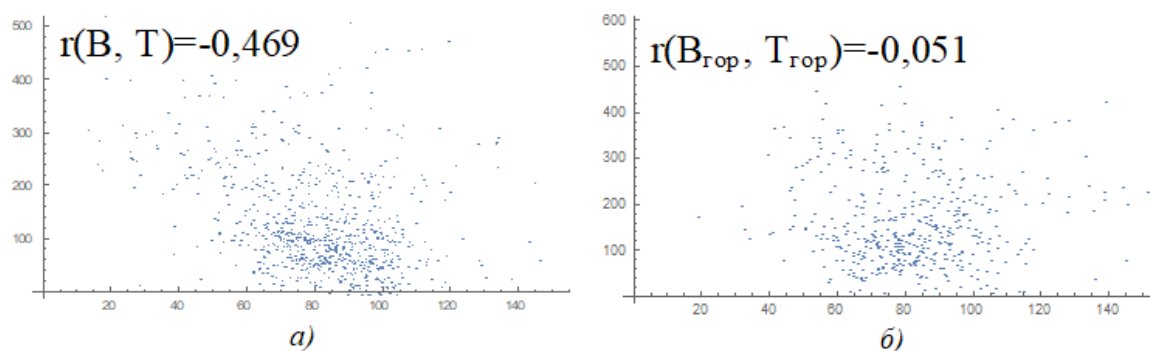


Рис. 4. Корреляционные поля и коэффициенты корреляции между гравиметрической аномалией Буге и высотой над уровнем моря для а) незаселенных и б) заселенных территорий.

Очень сильную корреляцию как для незаселенных, так и для заселенных территорий демонстрируют изостатическая аномалия и аномалия в свободном воздухе (**рис. 5**). При этом, как и в первых двух случаях, коэффициент корреляции для заселенных территорий выше, чем для незаселенных, хотя в данном случае разница между показателями является статистически не значимой.

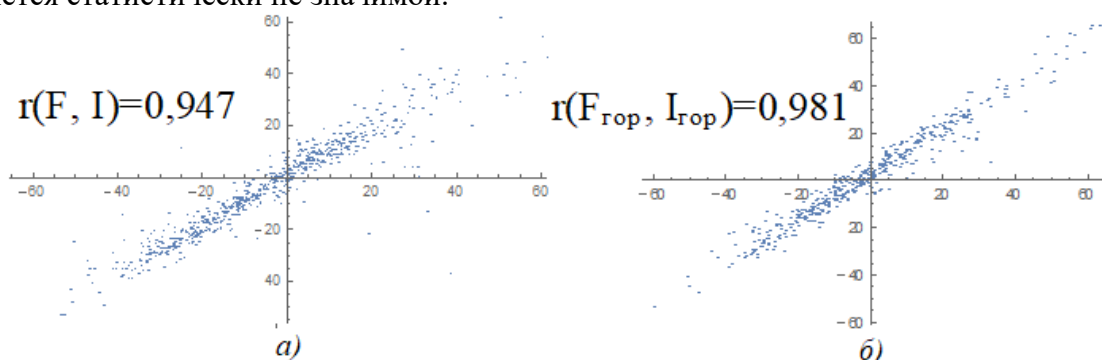


Рис. 5. Корреляционные поля и коэффициенты корреляции между изостатической аномалией и аномалией в свободном воздухе для а) незаселенных и б) заселенных территорий.

На **рис. 6** и **7** представлены результаты корреляционного анализа между высотой над уровнем моря, с одной стороны, и аномалиями в свободном воздухе и изостатической, - с другой.

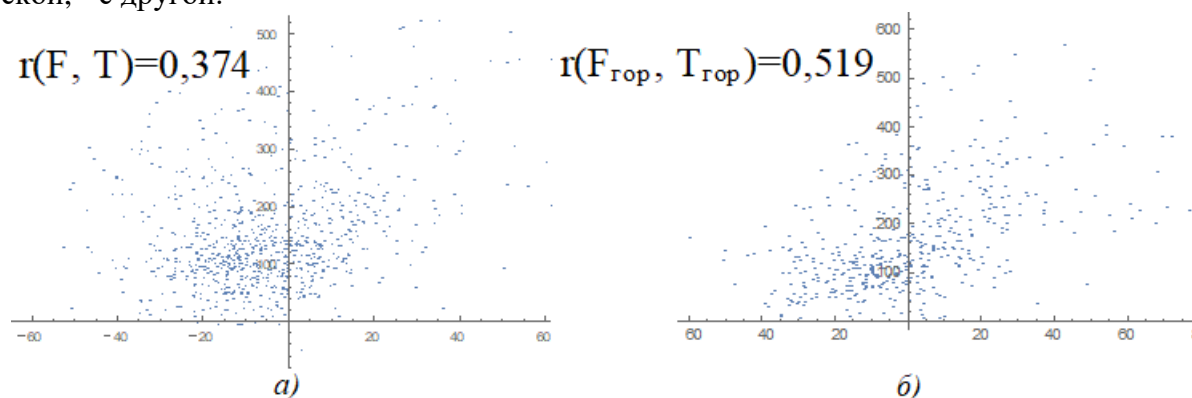


Рис. 6. Корреляционные поля и коэффициенты корреляции между аномалией в свободном воздухе и высотой над уровнем моря для а) незаселенных и б) заселенных территорий.

Как для высоты над уровнем моря и аномалией в свободном воздухе, так и для высоты над уровнем моря и изостатической аномалией, наблюдается значимое увеличение коэффициента корреляции для заселенных территорий по сравнению с незаселенными (слабая линейная связь становится умеренной).

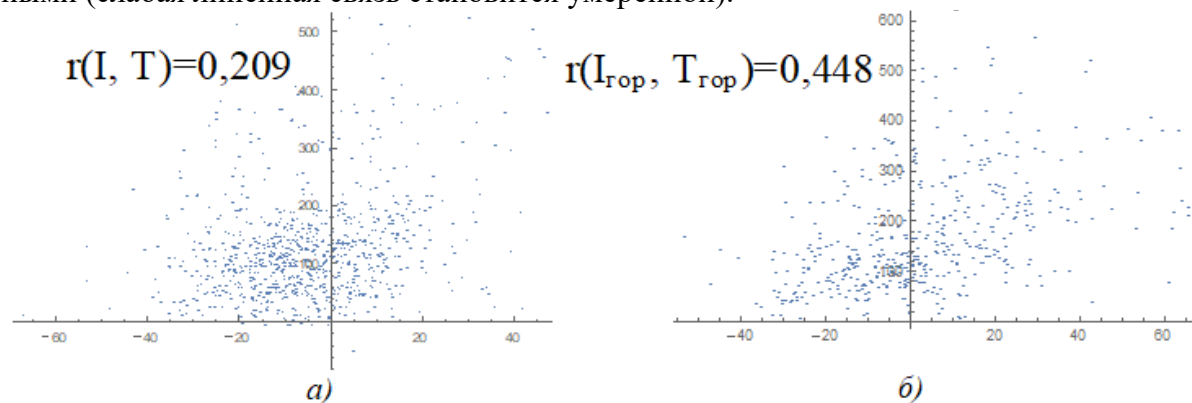


Рис. 7. Корреляционные поля и коэффициенты корреляции между изостатической аномалией и высотой над уровнем моря для: а) незаселенных и б) заселенных территорий.

Заключение

Значения гравиметрических аномалий для заселенных территорий обнаруживают статистически значимые особенности по сравнению с незаселенными территориями. Это проявляется в том, что коэффициенты корреляции между различными гравитационными аномалиями и высотой над уровнем моря значимо отличаются для заселенных и незаселенных территорий. В частности, коэффициент корреляции для заселенной территории значимо превышает таковой для незаселенной территории для следующих пар величин: аномалия Буге и аномалия в свободном воздухе, аномалия Буге и изостатическая аномалия, аномалия в свободном воздухе и высота над уровнем моря, изостатическая аномалия и высота над уровнем моря. Аномалии в свободном воздухе и изостатическая также имеют больший коэффициент корреляции для заселенных территорий, чем для незаселенных, однако в силу того, что они очень близки к единице, это различие не является столь же большим, как для предыдущих четырех пар. Что касается аномалии Буге и высоты над уровнем моря, то здесь наблюдается обратный эффект: они имеют значимую корреляцию для незаселенных территорий и незначимую для заселенных.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что гравитополя оказывают значимое влияние на размещение населения.

Список использованной литературы

Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.

Литовский В.В. Гравиогеография, проблемы инфраструктуры и размещения производительных сил / Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Шестые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции, Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 232–235.

Литовский В.В. Гравиогеография горнозаводских городов Урала меднорудной специализации. Сообщение 1. Север Свердловской области // Эко-потенциал. 2016. № 4 (16). С. 22–32.

Литовский В.В. Гравиогеография рек восточного склона Урала. Часть I // Эко-потенциал. 2017. № 4 (20). С. 73–96.

Литовский В.В. Гравиогеография и природоподобная сеть «Оренбургская паутинка» на основе инфраструктуры Юницкого «Sky Way» для степей Евразии // Степи Северной Евразии: Материалы VIII международного симпозиума / ред. А.А. Чибилов. Оренбург: Институт степи УрО РАН, 2018. С. 589–593.

Литовский В. В., Левковский В. В. Гравиогеография горнозаводских городов Урала меднорудной специализации. Сообщение 3. Республика Башкортостан, Оренбургская область // Эко-потенциал. 2016. № 4 (16). С. 50–64.

Литовский В.В., Левковский В.В. К развитию северо-западной инфраструктуры Уральского макрорегиона в новых геополитических и геоэкономических условиях // Север и рынок: формирование экономического порядка. Апатиты: Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина Кольского НЦ РАН. 2018. № 1(57). С. 107–119.

Мартыненко А.В. Программа Wolfram Mathematica как универсальная среда для обработки и анализа географической информации // Географический вестник. 2016. № 4 (39). С. 129–138.

Орлёнок В.В. Основы геофизики. Калининград: Калинингр. гос. ун-т, 2000. 446 с.
Основные геоданные GIS-Lab [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gislab.info/qa/data.html> (дата обращения 15.08.2018).

Официальный сайт Международного Гравиметрического Бюро [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bgi.obs-mip.fr> (дата обращения 15.08.2018).

Martynenko A. V. Comparison of gravity anomalies for populated and unpopulated areas (by the example of Greater Ural region) Proceed. of 3rd Russian Conference "Mathematical Modeling and Information Technologies" (MMIT 2016). Yekaterinburg, Russia. 2016. P. 62-68 (<http://ceur-ws.org>).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (16-06-00324)

Рецензент статьи: Заведующий сектором размещения
производительных сил и
территориального планирования
Института экономики УрО РАН,
доктор географических наук

Литовский В.В.